

# Uno strumento di analisi a supporto di valutazioni strategiche per il recupero e la rifunzionalizzazione di aree dismesse

RICERCA E  
SPERIMENTAZIONE/  
RESEARCH AND  
EXPERIMENTATION

Francesca Thiebat,  
Dipartimento di Architettura e Design, Politecnico di Torino, Italia

[francesca.thiebat@polito.it](mailto:francesca.thiebat@polito.it)

**Abstract.** Architetture in abbandono e vuoti urbani sono spesso considerati opportunità di rivalizzazione per le città, ma anche un problema urbano, intrinsecamente collegati a fenomeni di crisi strutturale e di degrado sociale. La ricerca affronta il rapporto tra salvaguardia di edifici storici industriali e nuove esigenze da soddisfare in termini di ecocompatibilità, costo globale ed energia. L'articolo, attraverso i risultati di una applicazione del *life cycle design*, intende dimostrare l'importanza di strumenti di analisi a supporto delle valutazioni strategiche per la pianificazione sostenibile di interventi di rigenerazione urbana legata al recupero di aree industriali dismesse.

**Parole chiave:** Recupero, Architettura industriale, Sostenibilità, LCA, LCC

## Introduzione

In Italia il 75% del costruito è anteriore a trent'anni ed è composto prevalentemente da edifici residenziali e, tra quelli non-residenziali, da edifici produttivi (ISTAT 2014). Molte fabbriche furono costruite tra la fine dell'Ottocento e l'inizio del nuovo secolo, cambiando la fisionomia di molte città italiane ed europee, e successivamente durante il boom economico degli anni '60. Le aree industriali furono collocate spesso in aderenza ai centri storici modificando l'assetto e la scala delle città. Tuttavia tali edifici furono soggetti ad un rapido decadimento tecnologico causato soprattutto dallo sviluppo di nuovi sistemi produttivi e da nuove esigenze logistiche che portò all'abbandono di intere aree industriali. Dal punto di vista della sostenibilità ambientale e della memoria storica si dovrebbe prediligere il recupero del costruito, benché spesso più oneroso e tecnologicamente più complicato rispetto ad interventi di demolizione e ricostruzione. Non sempre i benefici di tale scelta risultano evidenti e diventano necessarie analisi più complesse per dimostrare l'importanza di tali investimenti. Inoltre, occorre riflettere sull'aspetto sociale del concetto di sostenibilità, considerando il recupero di aree industriali come la conservazione

di un simbolo e di una testimonianza storico-culturale della comunità stessa di un territorio.

Come evidenziano numerosi studi, le scelte strategiche finalizzate alla creazione di una nuova identità di parti della città andrebbero programmate in itinere con la possibilità di attivare il consenso e la disponibilità di gruppi di persone o istituzioni locali interessati ad attivare processi di trasformazione delle aree dismesse.

Analizzando gli esiti delle trasformazioni in atto in Italia e in Europa è possibile individuare alcuni metodi e strategie ecocompatibili, spesso sperimentali, a supporto della riconversione di aree urbane dismesse.

Tra i progetti analizzati se ne evidenziano alcuni incentrati sul concetto di multidisciplinarietà e sul rapporto con il contesto esistente, naturale o antropico. È, ad esempio, l'obiettivo del progetto di ricerca "Regenerative design, Green Strategy", coordinato dall'Università Mediterranea di Reggio Calabria, quello di costruire una metodologia scientifica che metta in relazione gli interventi edilizi in aree urbane degradate con l'impatto ambientale che tali interventi provocano sul contesto urbano basandosi sui principi della progettazione rigenerativa in cui processi di ripristino, rinnovamento e rivalizzazione di un contesto si generano attraverso le relazioni tra i bisogni della società e l'integrità della natura (Focà e Laganà, 2015). Un'altra alternativa alla pianificazione urbana tradizionale è rappresentata dal progetto della "riappropriazione urbana temporanea" (Lupo e Postiglione, 2009) secondo cui devono essere formulati degli obiettivi e cercate delle alleanze per la loro realizzazione tra chi ha intenti compatibili all'interno della comunità urbana. Contrariamente alla pianificazione, che riguarda il lungo periodo, la temporaneità ha delle qualità (flessibilità, leggerezza sul territo-

An evaluation tool to support strategic evaluations for the reclamation and reuse of dismissed sites

**Abstract.** Dismissed architectures and urban voids are often considered revitalization chances for the cities. At the same time they are an urban problem, tied to structural crisis and social decay. The research takes on the relationship between the safeguard of historical industrial buildings and new needs in terms of eco-compatibility, global cost and energy. Through the results of an application of *life cycle design*, the paper aims at demonstrating the importance of tools for the analysis supporting strategic evaluations for the sustainable planning of urban renewal through the reclamation of dismissed industrial sites.

**Keywords:** Reclamation, Industrial architecture, Sustainability, LCA, LCC

## Foreword

In Italy, 75% of the built environment is older than thirty years and is mostly made of residential and industrial

buildings (ISTAT 2014). Many factories were built between the end of the XIX and the beginning of the XX century, and again during the boom of the Sixties, changing the face of many Italian and European cities. Industrial sites were often built close to the city centres, modifying asset and scale of towns. Nevertheless, those buildings faced a quick technological decay caused by the development of new production systems and new logistical needs, causing the abandonment of whole industrial areas.

The reuse of existing buildings should be preferred on the grounds of environmental sustainability and historical memory considerations, but it often proves more costly and technologically complicated if compared to demolition and reconstruction. The benefits of a choice are not always self-evident and more complex analysis

are needed in order to demonstrate the effectiveness of an investment. Moreover, it is necessary to reflect on the social meaning of the concept of sustainability and think of the reuse of dismissed sites as the preservation of the memory of a community.

As highlighted by many studies, strategic choices aimed at the creation of a new identity for parts of the city should be planned, step by step, with the possibility of gaining consensus from local people and institutions interested in activating processes of transformation of dismissed sites.

If we analyse ongoing transformations in Italy and Europe it is possible to find a few methods and eco-compatible strategies, often experimental, supporting the reuse of dismissed industrial sites. Some projects are centered on the concept of multi-disciplinary and on the relationship with the ex-

rio, varietà, attenzione sociale) rispetto alla sua effettiva durata nel tempo che possono essere vantaggiose sia per la pianificazione e l'economia, sia per gruppi di utilizzatori a larga scala. Tale concetto, richiamando il concetto di tempo, si lega ai temi di sostenibilità, riuso e durabilità/vita utile, non solo per quanto riguarda i vuoti urbani, ma anche per gli edifici in stato di abbandono sparsi nelle città.

In quest'ottica, strategie progettuali e di pianificazione dovrebbero basarsi sull'approccio di tipo *life cycle* attraverso cui i decisori politici, per mezzo di tecnici specializzati, introducano soluzioni innovative in ottica di sostenibilità in grado di valorizzare e sviluppare il territorio da rigenerare (naturale o costruito) rispettando l'ambiente e il capitale umano e sociale (Torricelli, 2015). Spesso, infatti, è stata evidenziata la necessità di applicare l'approccio *life cycle* al fine di trovare la migliore soluzione per il recupero del costruito. Pombo et alii, analizzando numerosi casi internazionali, suggeriscono l'utilizzo della metodologia multi-criteriata basata sui metodi LCA e LCC, in cui coincidano l'unità funzionale e i confini del sistema, da integrare con la dimensione sociale e sociologica del concetto di sostenibilità convergendo nella valutazione completa LCSA - *life cycle sustainability assessment*.

Tra le metodologie per il recupero sostenibile è da evidenziare l'approccio multidisciplinare la cui finalità è quella di combinare e armonizzare sia gli obiettivi che le scelte e le preferenze di ciascuno degli *stakeholders* coinvolti del processo decisionale (progettisti, investitori, Pubbliche Amministrazioni...) attraverso strumenti in grado di gestire la complessità, l'aspetto multidimensionale e l'incertezza dei dati acquisiti da differenti soggetti su diversi temi di analisi (economico, architettonico, umanistico, socio-culturale, ecc.) (Fregonara et al., 2013).

isting social and natural context. For instance, this is the aim of the research project "Regenerative design, Green Strategy", coordinated by the Università Mediterranea di Reggio Calabria, which points at developing a scientific methodology relating new building projects in decaying areas with the environmental impact they induce on the urban context when based on the principles of regenerative design, where processes of renovation and revitalization are generated through the needs of a society and the integrity of nature (Focà and Laganà, 2015). Another alternative to traditional urban planning is the "temporary urban reappropriation" (Lupo and Postiglione, 2009). According to this approach goals must be set, then alliances must be searched among subjects with similar aims in the urban community. Oppositely to planning, which is for the

long term, impermanence has qualities (flexibility, lightness on the site, variety, social attention) which can be useful both for planning and economy and for users on a large scale. This concept, recalling the notion of "time", is tied to the themes of sustainability, reuse and durability and expected life span, not only for urban voids, but also for decaying buildings.

On the same line, design and planning strategies should be based on the *life cycle* approach. Through it, decision makers, supported by technicians, should introduce innovative solutions in terms of sustainability aimed at revitalizing distressed natural or built areas, while respecting the environment and human and social capital (Torricelli, 2015). The importance has been often underlined of adopting a *life cycle* approach in order to find the best solution for the reclamation of dismissed built areas. Through



01 |

In ambito normativo, il tema è trattato dal gruppo europeo istituito nel 2006 CEN/TC 350 "*Sustainability of construction works*" che si è strutturato in diversi *working group*, sviluppando la sua attività in relazione alle performance ambientali, economiche e sociali del settore delle costruzioni, sul modello del lavoro svolto dall'ISO/TC 59 SC 17 "*Sustainability in buildings and civil engineering works*".

A partire dal quadro metodologico attuale, è stato applicato uno strumento che si basa sull'analisi multi-criteriata per la scelta tra diverse opzioni per il recupero economico, ambientale ed energetico di aree dismesse. L'applicazione, sebbene solo in ambito di ricerca, ad un caso studio ha permesso di sperimentare la metodologia attraverso un'analisi ex-post del progetto di recupero di un edificio industriale dismesso a partire dall'approvvigionamento dei materiali/prodotti e dalla loro messa in opera, fino allo scenario d'uso dell'edificio.

## Il caso studio

Il Village Chavonne, nel comune di Villeneuve (AO, Italia), è sorto nel 1917 (Fig. 1). Il complesso era destinato alla produzione di alluminio e materiali di valore commerciale in rapporto alla richiesta bellica. Comprende magazzini, aree produttive, uffici, residenze per i dipendenti, uno spaccio e una sala cinematografica.

the analysis of many international case studies, Pombo et alii suggest the use of a multi-criteria method based on LCA and LCC, where functional unit and system boundaries coincide, and integrate it with the social and sociological dimension of the concept of sustainability, converging in a complete LCSA (*life cycle sustainability assessment*) evaluation.

Among the methodologies for sustainable reuse another multi-disciplinary approach must be highlighted. It aims at combining both the goals and the preferences of each of the stakeholders involved in decision making (designers, investors, public administrations...), through the use of instruments capable of managing the complex and uncertain inputs from different subjects on the various themes of the analysis (economic, architectural, humanistic, socio-cultural...) (Fregonara et al., 2013).

The theme is treated from the European group 2006 CEN/TC 350 "*Sustainability of construction works*", structured in several working groups. Its activity revolves around the environmental, economic and social performances of the building sector, on the model of the activity of ISO/TC 59 SC 17 (*Sustainability in buildings and civil engineering works*).

Starting from the present framework, we applied an instrument based on a multi-criteria analysis to support the choice among different options for the reclamation of dismissed areas. The tool has been tested on a case study in order to check the method through an ex-post analysis of the re-qualification of a dismissed industrial building, starting from the procurement and installation of construction materials, up to the use stage.

fica. Le caratteristiche tipologiche comuni ai manufatti dell'area industriale sono sottoposte a vincolo da parte della Sovrintendenza ai Beni Architettonici e Ambientali.

Il capannone n. 200, oggetto dell'intervento di recupero, fu adibito a falegnameria fin dalla realizzazione. A seguito di successivi passaggi di proprietà all'Ansaldo e alla società Cogne, subì un periodo di parziale abbandono. Nel 1994 la proprietà è passata alla Regione Valle d'Aosta, che ne ha commissionato nel 2008 il riuso a vantaggio del Dipartimento risorse naturali, allo studio di architettura PAT. Il programma funzionale prevede una ripartizione tra aree di rimessaggio per le squadre forestali (40%) e aree produttive, comprendenti falegnameria e manutenzione attrezzature (60%).

### Obiettivo dell'analisi e confini del sistema

(a progetto realizzato) in modo da dimostrare e testare la compatibilità economica e ambientale delle scelte progettuali definite nelle prime fasi di progetto. L'obiettivo principale dello studio è di verificare se la scelta di condurre un'analisi che tenga conto dell'intero ciclo di vita possa essere utile per la scelta della migliore strategia di riqualificazione e, nel contempo, possa generare benefici nell'intero arco di vita utile di un edificio. Sebbene limitato ad un solo edificio, il caso studio ha permesso di analizzare i risultati ottenuti da diverse scelte progettuali e, contemporaneamente, ha permesso di valutare l'impatto dell'opera nelle sue fasi di vita utile secondo vari indicatori economici e ambientali.

Ai fini della presente ricerca, è stata condotta un'analisi sul ciclo di vita dell'edificio ex-post

Lo studio analizza e mette a confronto gli impatti associati alla fase iniziale e alle fasi di manutenzione e sostituzione con quelli imputabili all'utilizzo dell'edificio per un periodo di vita utile ipotizzato di 50 anni. Inoltre, due scenari di impianti termici sono stati messi a confronto: un impianto a caldaia a biomassa che riutilizza gli scarti della lavorazione e un impianto tradizionale a caldaia GPL. Nello studio<sup>1</sup> sono stati considerati i principali interventi di ristrutturazione al fine di valutare: gli aspetti ambientali, attraverso l'uso della LCA (ISO 14040/44), gli aspetti economici, attraverso il LCC (ISO 15686-5), e gli aspetti energetici, attraverso il calcolo del fabbisogno di energia primaria. In particolare i principali interventi di riqualificazione sono descritti di seguito e rappresentati nell'esploso prospettico (Fig. 2):

- Sostituzione e isolamento della copertura;
- Isolamento a cappotto delle chiusure opache verticali;
- Isolamento della chiusura orizzontale inferiore;
- Sostituzione dei serramenti esistenti;
- Impianti (scenario A): caldaia alimentata dal cippato. Impianto di diffusione dell'aria ad induzione con canali microforati. Acqua calda sanitaria con impianto solare termico.
- Impianti (scenario B): caldaia alimentata a GPL. Acqua calda sanitaria con impianto solare termico.

In accordo con le norme europee del CEN/TC350 (EN 15978 per gli aspetti ambientali e EN 16627 per gli aspetti economici) il ciclo di vita considerato tiene conto di tutte le informazioni disponibili in base alla suddivisione in moduli per le diverse fasi: A0 (pre-costruzione), A1-3 (produzione), A4-5 (costruzione), B1-7 (utilizzo) e C1-4 (fine vita). L'unità funzionale è 1 m<sup>2</sup> di SLP per 50 anni.

### The case study

The industrial complex of Chavonne was built in 1917 (Fig. 1) in the town of Villeneuve (Aosta, Italy).

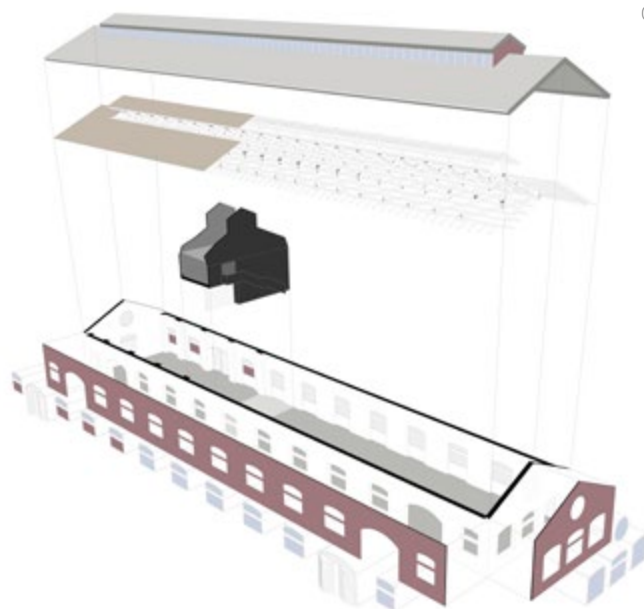
The complex was intended for the production of aluminium and commercial value of materials in relation to wartime demand. It included warehouses, production areas, offices, residences for employees, a shop and a movie theatre. The common typological features of the industrial area are subject to constraint by the Cultural Heritage department.

The shed n. 200, used as a woodworking since its construction, has been subject of a recent restoration plan. It was used for many years as a warehouse for *Ansaldo spa* and later for *Cogne spa*, one of the leading producers of stainless steel long products in Europe. When *Cogne* closed the facility in the early 1990s, the dismissed

area turned to public ownership. Years of neglect followed. In 2008, the design firm PAT, was appointed the job to completely renovate it by the Vallée d'Aoste Department of Natural Resources and Forest Management. The functional programme provides for a division in two areas: a warehouse (40%) and the proper workshop (60%).

### Goal and scope of the analysis

For the purposes of this study, a *life cycle analysis* was conducted ex-post (at the end of the project stages) on the building in order to demonstrate and test the economic and environmental suitability of the design choices presumed at the beginning of the project. The main objective of this study is to check whether the decision to take into account the whole *life cycle* can be helpful in choosing the



TAB. 1 | Valutazione degli impatti - Scenario A - Valori relativi a 1 m<sup>2</sup> di SLP in 50 anni  
General assumption for energy performance assessment of case studies, before

TAB. 2 | Valutazione degli impatti - Scenario B - Valori relativi a 1 m<sup>2</sup> di SLP in 50 anni  
General assumption for energy performance assessment of case studies, before

## Analisi di inventario e valutazione degli impatti

L'analisi di inventario si basa sull'elaborazione dei dati ricavati dal progetto esecutivo ed è suddivisa in funzione degli elementi tecnici dell'edificio: chiusure/partizioni orizzontali e verticali, altri elementi tecnici e impianti. La tabella (in Fig. 3, pagina seguente) mostra la ripartizione di ciascun elemento nei singoli componenti e materiali. La valutazione degli impatti è stata condotta calcolando in forma disaggregata gli impatti ambientali, energetici ed economici attraverso i seguenti indicatori di prestazione *mid-point*:

GWP - Global Warming Potential. Il potenziale effetto serra. Metodo: IPCC 2007 GWP 100a V1.02.

CED - Cumulative Energy Demand. Energia primaria necessaria alla produzione, all'uso e al fine vita dell'edificio. Metodo: CED V1.06.

NRE - Non-renewable Energy che rappresenta la frazione di energia non rinnovabile del CED;

LCC - Life Cycle Cost. Il costo globale dell'edificio nel periodo di riferimento dell'analisi considerando un tasso di sconto per l'attualizzazione dei costi futuri (per lo studio è stato considerato un tasso del 5%);

AP - Acidification potential. Acidificazione potenziale. Metodo: CML2 baseline 2000 v.2.05.

EP - Eutrophication potential. Eutrofizzazione potenziale. Metodo: CML2 baseline 2000 v.2.05.

## Risultati

Dopo aver elaborato i dati e compilato le schede di inventario (Fig. 3) e calcolato gli impatti secondo gli indicatori e i metodi sopra elencati, è stata formulata l'ultima fase dell'analisi:

best design strategy and, at the same time, it can generate benefits to the users throughout the whole building lifespan. Although limited to a single building, the case study has allowed us to analyse, on one hand, the results obtained from different design choices and, on the other hand, the impact assessment results of life-cycle phases according to several economic and environmental indicators.

The study analyses and compares the impacts associated to the initial phase, the maintenance and replacement with those due to the use of the building for a lifespan scenario of 50 years including building shell, heating and hot water systems, stairs and structure. Moreover, the life cycle analysis is used here to compare and contrast two alternatives energy provision. In addition to the variant based on the reuse of production wood scrap (Scenario A), a second option with a more conventional heating LPG furnace is considered (Scenario B).

The main interventions of the restoration were included into the analysis to assess: the environmental impacts, through the method of Life Cycle Assessment defined by ISO 14040/44; the whole costs, through the method of the Life Cycle Costing defined by the ISO 15686-5; and the operational energy, through the calculation of primary energy demand. Particularly, the main interventions of the restoration are listed below and shown in the perspective diagram (Fig. 2):

- Replacement of the roof adding thermal insulation;
- External insulation of the walls;
- Insulation of the floor;
- Replacement of the windows adding thermal insulation;
- New plants and systems (scenario

l'interpretazione dei risultati. L'articolo mostra, innanzitutto, i risultati ottenuti per ciascuna fase della vita utile ipotizzata e, successivamente, il confronto tra i valori unitari di ciascuna fase per lo scenario A e quelli per lo scenario più consueto B. Le tabelle mostrano i valori di ciascun indicatore di impatto per 1 m<sup>2</sup> di SLP in 50 anni per gli scenari A (Tab. 1) e B (Tab. 2) suddivisi per fasi e con l'indicazione del valore totale. Nel caso studio presentato, le opzioni progettuali considerate sono suddivise unicamente in due scenari, in quanto molte scelte sono state definite a livello storico-culturale attraverso un confronto tra progettisti e Sovrintendenza per effetto del vincolo storico-artistico presente (ad es. scelta dei materiali, sistema costruttivo, ecc.). In altri contesti, lo stesso strumento può essere applicato variando e ampliando il numero di scenari e opzioni da confrontare.

TAB. 1 |

INDICATORS	SCENARIO A				TOTAL
	LIFE CYCLE STEPS				
	Construction	Use	Replacement	Maintenance	
LCC [€/m²]	1.150,30	40,85	146,09	87,45	1.425
CED [kWh/m²]	2.464,94	17.987,45	1.287,29	20,09	21.760
NRE [kWh/m²]	1.828,72	877,77	1.133,18	19,34	3.859
GWP [kgCO <sub>2</sub> /m²]	444,38	144,60	331,40	2,91	923
AP [kg SO <sub>2</sub> eq/m²]	0,23	1,30	0,64	0,00	2,17
EP [kg PO <sub>4</sub> eq/m²]	2,21	3,63	1,59	0,01	7,44

TAB. 2 |

INDICATORS	SCENARIO B				TOTAL
	LIFE CYCLE STEPS				
	Construction	Use	Replacement	Maintenance	
LCC [€/m²]	970,30	469,43	104,01	21,55	1.565
CED [kWh/m²]	2.464,94	15.627,50	1.348,02	20,09	19.461
NRE [kWh/m²]	1.828,72	15.610,85	1.189,76	19,34	18.649
GWP [kgCO <sub>2</sub> /m²]	444,38	3.271,61	0,00	2,91	3.719
AP [kg SO <sub>2</sub> eq/m²]	0,23	0,81	0,66	0,00	1,70
EP [kg PO <sub>4</sub> eq/m²]	2,21	8,98	1,71	0,01	12,91



			PRE-USE PHASE			USE PHASE						
			Total amount for the building			Total amount in the lifespan of the building - Discount rate 5%						
	Building components	Material	Mass	Market Cost (market + assembly)	Construction Cost (assembly)	Mass (maintenance and replacement)	End of Life	Use cost	Maintenance Cost	Replacement Cost (market + assembly)	Replacement Cost (assembly)	Replacement Cost (waste)
			kg	€	€	kg	kg	€	€	€	€	€
Horizontal envelope and partitions	Foundations	reinforced concrete	47376	€ 6.793,47	€ 6.793,47	0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
		steel bars	3290,7	€ 4.442,45	€ 4.442,45	0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
	Basement slab	reinforced concrete	2016000			0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
		PE	167,44			0,00	0,00					
		XPS	2352	€ 48.274,80	€ 26.544,00	0,00	0,00					
		concrete				0,00	0,00					
	Mezzanine slab	gravel	285600			0,00	0,00					
		steel	1125,552			0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
		reinforced concrete		€ 6.802,29	€ -	0,00	0,00					
	Roof	wood		€ 61.328,93	€ -	0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
		steel	3226,34	€ 5.646,10	€ -	3226,34	3226,34		€ -	€ 1.306,38	€ -	€ 74,65
		wood		€ 19.923,23	€ -	0,00	0,00			€ -	€ -	€ -
		mineralized wood panel	20859,84	€ 7.567,49	€ 15.715,63	20859,84	20859,84		€ -	€ 1.750,95	€ 3.636,24	€ 96,53
		PP	254,95	€ 2.931,97	€ -	254,95	254,95		€ -	€ 678,39	€ -	€ 2,95
		polyurethane slab	7213,8	€ 34.801,17	€ -	7213,80	7213,80		€ -	€ 8.052,21	€ -	€ 283,75
		cement roof tile	36562,66	€ 27.268,45	€ -	36562,66	36562,66		€ -	€ 6.309,30	€ -	€ 422,99
	Ceilings	fire-resistant plasterboard	999,267			999,27	999,27		€ -	€ 469,49	€ -	€ 21,32
		steel	91,758	€ 2.029,12	€ -	91,758	91,76					
		glass fiber	111,9			111,90	111,90					
		wet-resistant plasterboard	1108,368			1108,37	1108,37		€ -	€ 1.081,47	€ -	€ 32,62
		glass fiber	211,3632	€ 4.674,05	€ -	211,36	211,36					
Vertical envelope and partitions	floorings	wet-resistant plasterboard	257,76			257,76	257,76					
		floor tile	3307,92	€ 3.228,01		3307,92	3307,92		€ -	€ 746,89	€ -	€ 38,27
	External walls	primer	210	€ 3.360,00		630,00	0,00		€ 2.767,60	€ -	€ -	
		plaster for interiors	9067,8	€ 6.457,57	€ 11.226,81	0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
	Interior walls	Polystyrene	1318,87		€ 47.336,51	1318,87	1318,87		€ -	€ 2.394,97	€ 8.581,65	€ 401,79
		external plaster	30773,68	€ 13.210,70		30773,68	30773,68					
		fire-resistant plasterboard	12837,23			12837,23	12837,23		€ -	€ 3.565,63	€ -	€ 259,77
		steel	672,77	€ 15.410,43		672,77	672,77					
		glass fiber	862,52			862,52	862,52					
		fire-resistant plasterboard	978,1			978,1	978,1		€ -	€ 803,03	€ -	€ 36,01
		wet-resistant plasterboard	784,97	€ 3.470,66		784,97	784,97					
		steel	102,52			102,52	102,52					
		glass fiber	131,44			131,44	131,44					
		wall tile	1901,9	€ 2.065,91		1901,90	1901,9		€ -	€ 478,00	€ -	€ 22,00
Others elements	Windows and doors	paint (wall)	78,45	€ 2.271,77		235,34	0,00		€ 1.871,23	€ -	€ -	
		aluminium window frame	3144,92			0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
		double glazing	1818,30			0,00	0,00					
		polycarbonate panel	87,72	€ 76.741,10	€ -	0,00	0,00					
		aluminium sheet	115,61			0,00	0,00					
		rock wool	92,06			0,00	0,00					
		steel	249,11			0,00	0,00					
		aluminium window frame	69,62			69,62	69,62			€ 9.016,93	€ 95,96	€ 59,69
		double glazing	86,85			86,85	86,85					
		steel	349,52			349,52	349,52					
	Mezzanine structure	rock wool	728,15	€ 38.970,66	€ 414,72	728,15	728,15					
		polyurethane foam	190,66			190,66	190,66					
		wood	64,03			64,03	64,03					
		pvc	28,79			28,79	28,79					
	Interior stair	steel	4988,42	€ 8.729,74	€ -	0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
		steel	261,76	€ 2.261,61	€ -	0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
		steel	125,48	€ 826,91	€ -	0,00	0,00		€ -	€ -	€ -	
	drain-pipe	titanium zinc	11496,55	€ 19.572,90	€ -	11496,55	11496,55		€ -	€ 4.528,73	€ -	
SHELL				€ 429.061,45	€ 112.473,59			€ -	€ 4.638,84	€ 41.182,37	€ 12.313,85	€ 1.603,05
HVAC systems	Biomass furnace system	boiler and pipes		€ 77.232,79						€ 17.869,93		€ 231,38
	Ventilation system	Air handling unit (AHU) and pipes		€ 40.076,22				€ 23.705,29	€ 46.102,66	€ 9.272,73		€ 185,10
	Solar panels	boiler, panels and pipes		€ 8.630,16						€ 1.996,82		€ 115,69
PLANTS (SCENARIO A)				€ 125.939,17	€ -			€ 23.705,29	€ 46.102,66	€ 29.139,48	€ -	€ 532,17
HVAC systems	LPG furnace system	2 boiler + 2 ventil and pipes		€ 20.494,00				€ 272.392,98	€ 7.868,33	€ 4.741,85	€ -	€ 231,38
	Hot Water	boiler and pipes		€ 1.000,00						€ 231,38	€ -	€ 46,28
PLANTS (SCENARIO B)				€ 21.494,00	€ -			€ 272.392,98	€ 7.868,33	€ 4.973,23	€ -	€ 277,65

A): biomass system use the wooden scrap. Air handling. Solar panels for Hot Water System.

- New plants and systems (scenario B): standard Liquid petroleum gas (LPG) burner. Solar panels for Hot Water System.

According to the CEN/TC350 (EN 15978 – environmental sustainability - and EN 16627 – economic sustainability), this study take into consideration the following *life cycle* phase for both LCA and LCC inventory analysis: A0

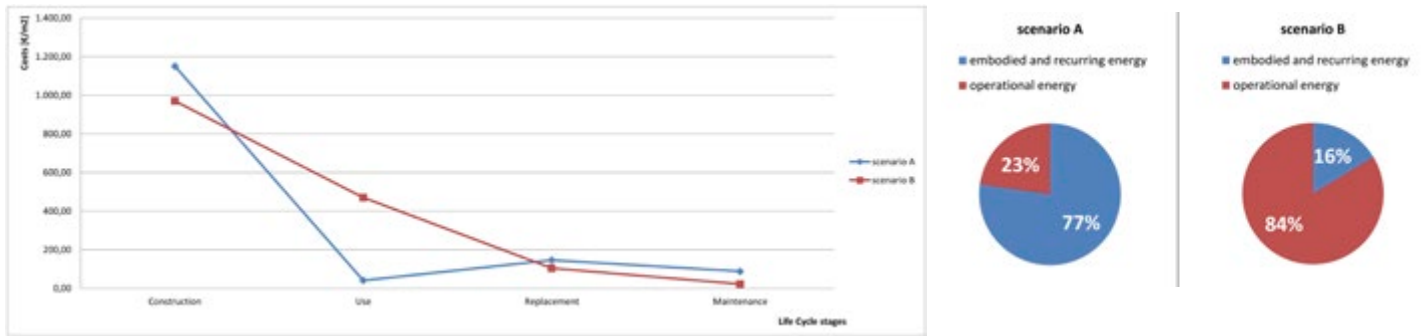
(pre-construction), A1-3 (production), A4-5 (construction), B1-7 (use) e C1-4 (end-of-life). The functional unit used is 1 m<sup>2</sup> of Gross floor area (GFA) related to 50 years.

#### Inventory and impact assessment

The inventory analysis is built from the data of the detailed design stage, including the follow building elements: horizontal envelope and partitions, vertical envelope and partitions, other components and HVAC system.

The summary table of figure 3 gives an overview of the sub-components and building materials for each part. The life cycle impact assessment is based on mid-point indicators, that measure separately the environmental, energetic and economic impacts. In particular: GWP - Global Warming Potential. Method: IPCC 2007 GWP 100a V1.02. CED - Cumulative Energy Demand. Primary energy demand for material production, use and end-of -life

03 | Scheda di inventario suddivisa negli elementi tecnici che compongono l'edificio. Quantità e costi delle varie fasi del ciclo di vita considerate nell'analisi per i due scenari A e B  
Inventory data sheet divided into the technical elements of the building. Quantity and costs of life cycle stages for scenario A and B



In questo esempio, lo scenario B ha costi di ridotti nella fase di costruzione ma più elevati nella fase d'uso dovuti al costo maggiore del combustibile (Fig. 4).

Come dimostra la tabella, osservando i risultati relativi agli aspetti energetico-ambientali si possono fare due principali considerazioni. Nella fase d'uso dello scenario A l'energia spesa è prevalentemente imputabile alla biomassa (energia da fonte rinnovabile). Inoltre, la quota percentuale associata all'energia inglobata nei materiali aumenta al diminuire dell'energia spesa nella fase d'uso dell'edificio. Nello scenario A, in cui l'energia richiesta in fase di esercizio è minore, l'energia inglobata nei materiali (costruzione + sostituzione e manutenzione) rappresenta il 77% del totale della frazione di energia non rinnovabile, mentre nello scenario B è il 16% (Fig. 5).

Dai risultati ottenuti si può evidenziare l'importanza di:

- condurre valutazioni economiche ed energetico-ambientali sull'intero ciclo di vita oltre che per la sola fase di costruzione (ad es. computo metrico estimativo) o per la sola fase d'uso (ad es. indice di prestazione energetica e relative emissioni di CO<sub>2</sub>).
- incorporare la quota di energia da rinnovabili rispetto alla quota di non rinnovabili.
- considerare, già nelle fasi di progettazione, l'energia inglobata nei materiali per la riqualificazione/ costruzione dell'edificio e quella prevista per il suo utilizzo.

Nonostante il caso studio presentato costituisca un esempio applicativo alquanto contenuto, dimostra che potrebbe essere stato

vantaggioso condurre la valutazione già in fase di pianificazione per il riuso dell'intero complesso industriale. Procedendo in questo modo si sarebbero potuti ottimizzare i tempi e le risorse (naturali ed economiche) valorizzando, al contempo, il rapporto con il contesto territoriale. Analogamente, la definizione della vita utile e funzionale dell'edificio e del tipo di utilizzo dei manufatti nel tempo, concordati a priori con la committenza, avrebbero garantito una maggiore efficienza economica, ambientale e sociale dell'intervento di recupero nell'arco di vita.

## Conclusioni e outlook

La ricerca dimostra che l'applicazione di modelli *life cycle* può facilitare scelte sostenibili per interventi di recupero del costruito sebbene nella pratica corrente l'approccio di tipo *life cycle* non sia riconosciuto e dunque non remunerato<sup>2</sup>. Tali modelli andrebbero applicati in itinere, a partire dalla pianificazione urbana e funzionale da parte delle Pubbliche Amministrazioni, per definire strategie di recupero che tengano conto degli aspetti economici, ambientali, energetici e socio-culturali legati alla valorizzazione delle aree dismesse in relazione al territorio di appartenenza, fino alle scelte tecnologiche delle fasi di progettazione. A tal fine, i dati necessari per lo studio potrebbero essere semplificati e raggruppati in macro categorie in linea con la fase di progettazione/pianificazione di riferimento, a differenza dell'esempio qui proposto, in cui sono state inserite le informazioni dettagliate corrispondenti al progetto esecutivo.

Method: CED V1.06.

NRE - Non-Renewable Energy. Represent the non-renewable fraction of CED;

LCC - Life Cycle Cost. Total building cost associated to a specific lifetime calculated the net present value (NPV) with a defined discount rate (i.e. 5% in this study).

AP - Acidification potential. Method: CML2 baseline 2000 v.2.05.

EP - Eutrophication potential. Method: CML2 baseline 2000 v.2.05.

## Results

After processing and assembling of the inventory data sheets (Fig. 3) and evaluating the impacts according to the indicators and methods listed above, it was undertake the last phase of the analysis, that is the interpretation of results. The paper shows, first of all, the results split into life cycle stage

and, then, the comparison between single values of scenario A and those of scenario B, which represents the benchmark option. The tables below show the impact indicator assessment per 1 m<sup>2</sup> of GFA related to 50 years both for the scenario A (Tab. 1) and B (Tab. 2). Values are presented both separated for each life cycle stages and put together in the total.

In the case study, since it is a listed building only two scenarios are carry on. Therefore, several design solutions (e.g. type of materials, construction system, etc.) have been discussed in term of historical and cultural level with the Cultural Heritage department at the beginning of the design stage. In other settings, this life cycle approach can be used adding more scenarios and combining different options.

In this example, the construction stage of the scenario B has lower costs if

compared to scenario A but higher in the use stage due to the higher price of fuel (Fig. 4). Moreover, looking at the tables 1 and 2, two consideration concern energy and environmental aspects. In the use phase of the scenario A, energy demand is mainly allocated to biomass that is renewable energy. The second consideration is the weight of the construction phase in relation to the embodied energy associated to building materials that grows in percentage as the operational energy demand decreases (i.e. energy efficient buildings).

As illustrated in figure 5, the energy incorporated in the building materials (construction + replacement and maintenance stages) accounts for 77% of the total non-renewable energy fraction, whereas in scenario B, that required more energy for the use stage, it is only 16% (Fig. 5).

04 | Life Cycle Costing (LCC): confronto tra i costi delle fasi del ciclo di vita nei due scenari. I costi delle fasi d'uso, sostituzione e manutenzione sono stati attualizzati utilizzando un tasso di sconto pari al 5%

Life Cycle Costing (LCC): life cycle stage comparison for the two scenarios.

Use, maintenance and replacement costs are been calculated using net present value formula with a discount rate of 5%

05 | Non Renewable Energy (NRE): confronto tra l'energia inglobata nei materiali (fasi di costruzione, sostituzione e manutenzione) e l'energia spesa per l'esercizio nei due scenari analizzati

Non Renewable Energy (NRE): percentage comparison between embodied energy and operational energy for the two scenarios

Il limite indiscutibile della ricerca è rappresentato dalla difficoltà di valutare uniformemente, seguendo una logica esatta e oggettiva, gli aspetti culturali e storici insieme agli aspetti legati all'innovazione e alle esigenze future. Un elemento unificatore può essere rappresentato dall'integrazione disciplinare tra i soggetti stessi che agiscono nella pianificazione (committenti, progettisti e specialisti), i cittadini e gli end-user attraverso un processo di progettazione integrata e con il supporto di strumenti di analisi. Ad esempio, l'integrazione delle analisi specialistiche in un unico sistema BIM – *Building Information Modelling*. Inoltre al fine di rendere possibile la lettura dei risultati ottenuti da analisi complesse anche a soggetti non esperti, si potrebbero aggregare diversi indicatori per ottenere un valore unico pesato a complemento dei singoli risultati.

#### NOTE

<sup>1</sup> I dati relativi allo studio LCA e LCC sono stati pubblicati in occasione del congresso internazionale PLEA16 del 11-13 luglio 2016 a Los Angeles USA (cfr. Thiebat et al., 2016).

<sup>2</sup> Il nuovo Codice Appalti (D.Lgs 50/2016) include il tema dei costi del ciclo di vita anche in relazione agli aspetti ambientali.

#### REFERENCES

- Focà, A., Laganà, A. (2015), "Nuove responsabilità: ripensare alla rigenerazione", *Techne*, Vol. 10.
- Fregonara, E., Curto, R., Grosso, M., Mellano, P., Rolando, D., Tulliani, J.M. (2013), "Environmental Technology, Materials Science, Architectural Design, and Real Estate Market Evaluation: A Multidisciplinary Approach for Energy-Efficient Buildings", *The Journal of Urban Technology*, Vol. 20, No. 4.
- Grillo, M.C., Frattari, A., Dalprà, M. (2013), "Industrial Estate retrofitting: selection of sustainable strategies using MCA", paper presented at CESB 13 Prague, 26-28 June 2013.
- Lupo, E., Postiglione, G. (2009), "Temporary Active-Actions as Urban re-appropriation strategies", *Proceedings of the Occupation: Negotiations with Constructed Space Conference*, Brighton, 2-4 July 2009.
- Pombo, O., Rivela, B., Neila, J., (2016), "The challenge of sustainable building renovation: assessment of current criteria and future outlook", *Journal of Cleaner production*, Vol. 123.
- Thiebat, F., Veglia, A., Porceddu, V. (2016), "Sustainability strategies for the reuse of dismissed industrial architecture: Life-cycle design in an Italian case study", paper presented at PLEA16, Los Angeles 11-13 July 2016.
- Torricelli, M.C. (Ed.) (2015), *ES-LCA e patrimonio naturale: Life Cycle Analisi ambientale e sociale di un'area protetta*, Firenze University Press, Firenze.
- Vitale, A. (2012). "Luci e ombre sulla gestione del patrimonio industriale dismesso", *Techne*, Vol. 3.

From the results can be highlight the importance of:

- expanding economic, environmental and energy assessment toward the whole life cycle of buildings in addition to the single life cycle stage of construction (cost estimate) or building use (energy performance and emissions);
- separating renewable from the non-renewable energy amount;
- taking into account, in the design stage, the embodied energy and carbon related to building material as well as the operational energy and carbon.

Although the case study presented is quite limited, it shows that it would be advantages by conduct the assessment already in the planning stages for the reclamation and reuse of the entire industrial complex. In this way, time and resources (natural and economic)

would be optimized enhancing, at the same time, the relationship with the local context. Likewise, the definition of the building lifespan and functional life over time, agreed in advance with the client, would guarantee greater economic, environmental and social efficiency within the lifetime.

#### Conclusions and outlook

The study shows that the application of life cycle models can support the choice of the most sustainable options in the reuse of buildings. Still, in current practice, the life cycle approach is not recognized and thus not economically rewarded<sup>2</sup>. Such models should be applied *in itinere*, starting from the urban planning and functional zoning, in order to define reclamation strategies taking into account all the economical, environmental, energy and socio-cultural aspects involved

in the reuse of dismissed sites, up to technological choices at the design stage. In order to do so, the necessary data could be simplified and grouped in macro categories in line with the design/planning stage, thus differing from the proposed case study where data from the detailed design stage were used.

The limit of the study is the difficulty of evaluating in a homogeneous and objective way cultural and historical aspects, along with innovation and future needs. A unifying element could be found in the disciplinary integration among stakeholders in the planning process, along with the end users in an integrated design process supported by analysis tools. For instance, the integration of specialist analysis in a single BIM (Building Information Modeling) system. Moreover, in order to allow legibility of results coming

from complex analysis also to the non-specialist, various indicators could be synthesized in a single weighted value.

#### NOTES

<sup>1</sup> The LCA and LCC data of the case-study has been published on the proceedings book of PLEA16 held in Los Angeles from 11 to 13 July 2016 (i.e. Thiebat et al., 2016).

<sup>2</sup> The new version of Italian Tender Code (*Codice Appalti* D.Lgs 50/2016) includes a specific part for life cycle costs and environmental costs.